

使用理想二极管控制器的汽车应用冗余电源拓扑

Abhijeet Godbole
Lead Systems Engineer

Praveen GD
Lead Applications Engineer

引言

冗余电源使用多个电源单元为负载提供所需的电源。它们有助于提高系统的可靠性和可用性，并在其中一个电源单元发生故障时确保系统安全。在汽车系统中，冗余电源对于自动驾驶等安全关键型应用尤为重要，因为在这类应用中，断电可能会导致严重的后果。

ORing 和优先级电源多路复用是在汽车系统中实现冗余电源的两种常用技术。在 ORing 中，系统从多个输入中选择最高电压的电源，而电源多路复用技术允许系统根据优先级或其他标准在不同的电源之间切换。设计人员以前会将肖特基二极管和/或 P 沟道场效应晶体管用于电源中的冗余电路。

理想的二极管控制器是可以控制外部金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 来模拟理想二极管行为的集成电路

(IC)。与传统二极管相比，它们具有多种优势，例如更低的功率耗散、更高的电流能力、反极性保护、反向电流阻断和负载突降保护。理想的二极管控制器还可提供浪涌电流限制以及过压和过流保护。

在本文中，我们将讨论使用理想二极管控制器进行 ORing 和电源多路复用的概念和优势、ORing 和电源多路复用电路的不同类型和架构，以及在汽车系统中使用理想二极管控制器实现 ORing 和电源多路复用的挑战和解决方案。

ORing 和电源多路复用技术

ORing 和电源多路复用技术都使用理想二极管将多个输入电源连接到单个输出负载，但他们在不同输入源之间的选择和切换方式有所不同。图 1 显示了电源 ORing 和优先级多路复用的典型用例。

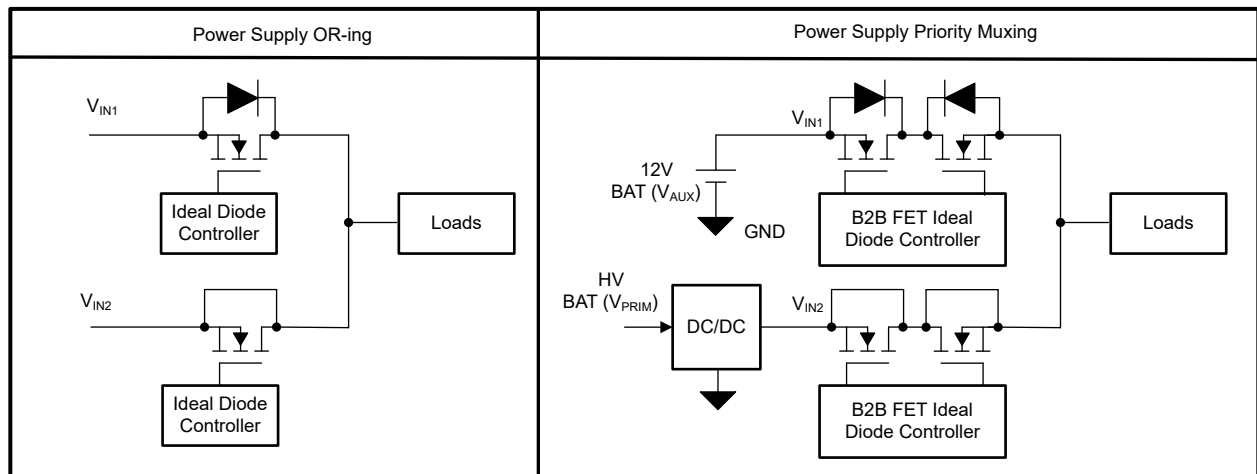


图 1. ORing 和优先级电源多路复用器解决方案的典型用例。

ORing 电路有助于系统根据最高输入电压从多个输入中选择最佳可用电源。理想二极管充当开关，在输入电压高于输出电压时导通，并在输入电压低于输出电压时关断。这样，ORing 电路可确保具有最高电压的输入源连接到输出端，并防止出现反向电流和输入源之间的跨导。如果两个输入电源几乎相等，则可以由两个电源同时为负载供电，而两个电源之间没有任何循环电流。因此，反向电流阻断是实现 ORing 电路所需的主要特性。

电源多路复用电路允许系统根据电源优先级或输入电压可用性和幅度等标准在不同的电源之间进行切换，而不管电压幅度如何。在该配置中，控制电路需要开关每个电源和负载之间的电源路径，具体由其自身的优先级逻辑或外部信号（例如微控制器通用输入/输出引脚）控制。电源多路复用电路确保在任一时刻只有一个输入源连接到输出，并防止出现反向电流和输入源之间的跨导。因此，在该配置中，电路需要具有反向电流阻断和负载路径开关控制功能，以使优先级电源能够为负载供电。

电源 ORing 的典型应用电路

ORing 电路广泛用于信息娱乐、车身控制模块、高级驾驶辅助系统和照明模块等汽车子系统；它们可在电源出现故障或断开时提供冗余和可靠性。图 2 显示了采用理想二极管控制器 IC 与外部 N 沟道 MOSFET 的不同 ORing 拓扑。

有效的 ORing 解决方案需要以极快的速度工作，以便在其中一个电源出现故障时限制反向电流的持续时间和大小。ORing 配置中的理想二极管控制器会不断检测阳极和阴极引脚（分别是电源 (V_{IN1} 、 V_{IN2}) 和公共负载 (V_{OUT}) 点的电压电平）之间的电压差。只要 $V_{IN} - V_{OUT}$ 降至指定的反向阈值（通常为几毫伏）以下，快速比较器就会在数毫秒内通过快速下拉电阻将栅极驱动器关断。TI 理想二极管控制器具有快速反向电流检测比较器和线性栅极稳压方案，可确保在发生输入电源丢失时实现零直流反向电流。

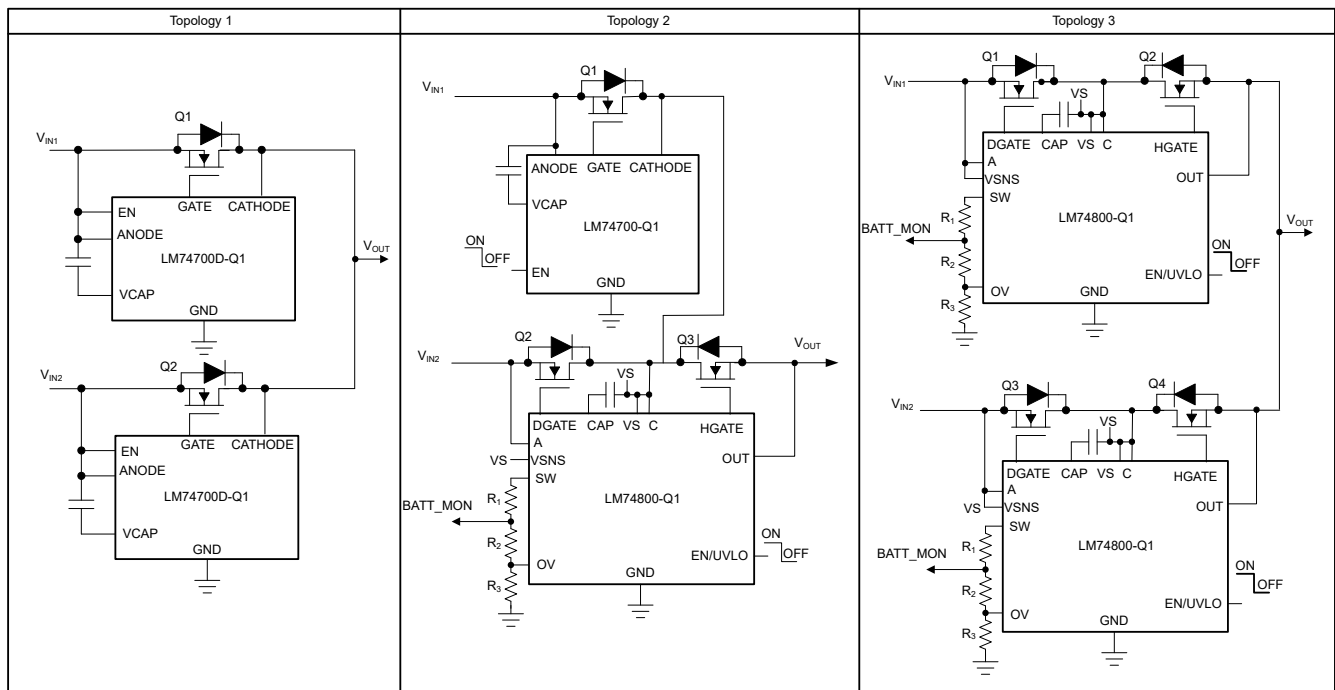


图 2. 使用理想二极管控制器的典型 ORing 拓扑。

少数子系统需要将负载与电源断开，以实现低静态电流或保护系统免受故障条件的影响。图 2 中的拓扑 2 显示了采用 TI LM7480-Q1 和 LM7470-Q1 器件且具有通用负载断

开控制功能的典型双电源输入 ORing 应用电路。FET Q1 和 Q2 分别由 LM7470-Q1 和 LM7480-Q1 驱动，用于提供 ORing 功能，而由 LM7480-Q1 驱动的 Q3 FET 可以将

负载与电源隔离。当 V_{IN1} 大于 V_{IN2} 时，LM7480-Q1 对 FET 的独立控制允许 Q2 阻断反向电流，而 Q3 保持导通，将 V_{IN1} 连接至 V_{OUT} 。

图 2 中的拓扑 3 显示了 ORing 的典型应用电路，该电路具有针对各个电压轨的负载断开功能，从而使系统设计人员能够为每个电压轨指定不同的负载断开标准。

图 3 和图 4 显示了 $V_{IN1} = 12V$ 且 $V_{IN2} = 15V$ 时两个电源轨之间的电源 ORing 切换性能。

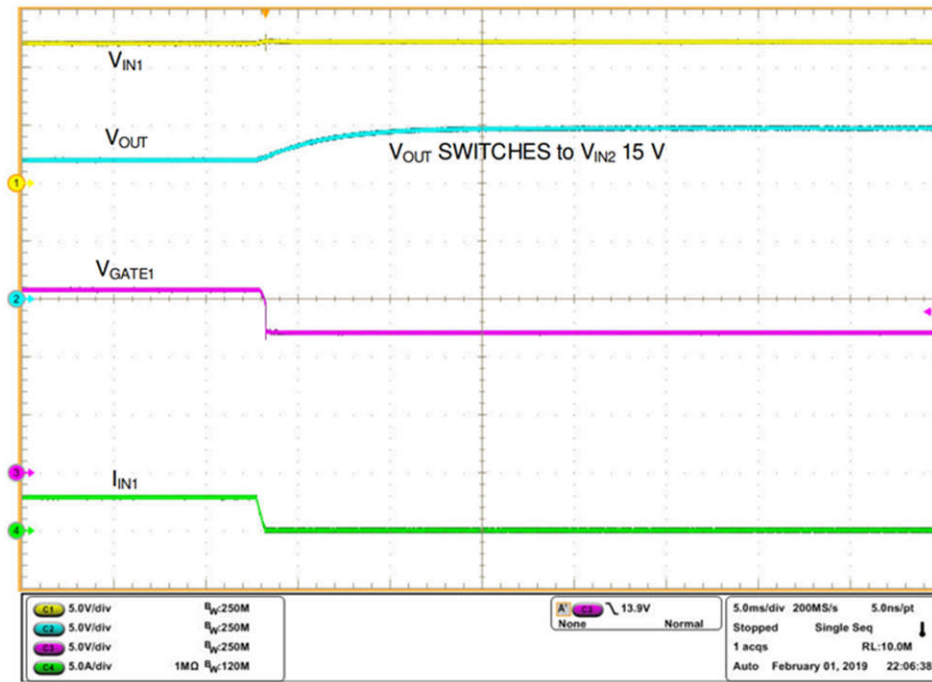


图 3. 电源从 V_{IN1} 切换至 V_{IN2} 。

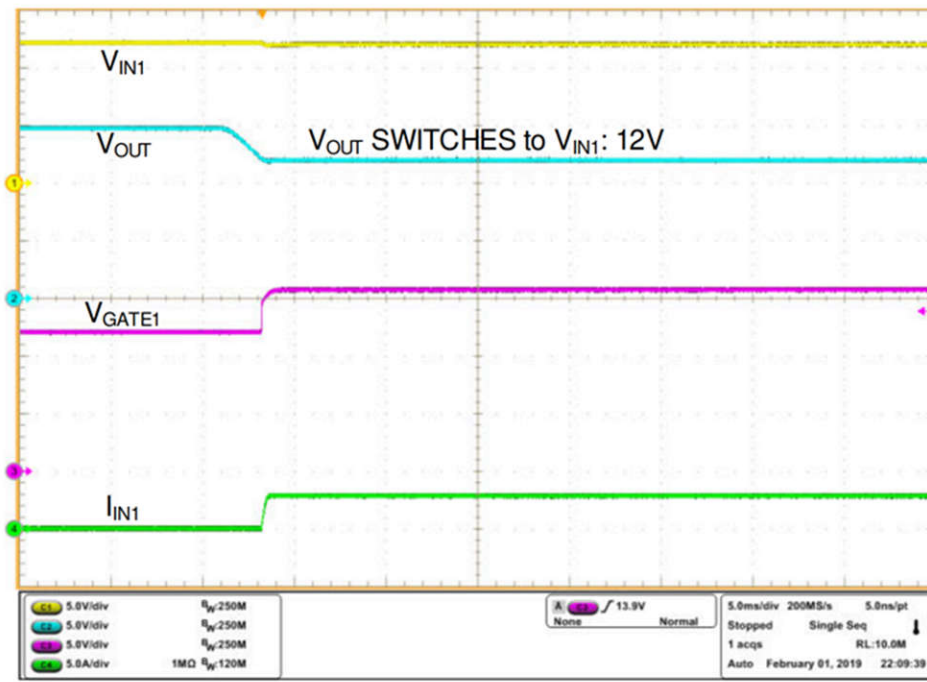


图 4. 电源从 VIN2 切换至 VIN1。

优先级电源多路复用器配置

当主电源电压降至指定的阈值以下时，优先级电源多路复用器会自动将主电源转换为辅助 (AUX) 或次级电源。如果可用且处于可接受限值内，主电源始终是为负载供电的首选电源。例如，如果配电单元中的上游智能保险丝在子系统的主电源上跳闸，则优先级电源多路复用器电路会自动将 AUX 电源连接到输出端，并从输出端断开主电源，以避免子系统运行出现任何中断。如果上游智能保险丝复位且主电源电压上升到可接受的阈值以上，则优先级电源多路复用器电路会自动将主电源连接回输出端并断开 AUX 电源。

电源多路复用器电路需要使用 LM74800-Q1 或 **LM74900-Q1** 等控制器来控制每个电源轨上的两个背对背

MOSFET。当主电源和 AUX 电源都存在且处于可接受的范围内，并且主电源正在为负载供电时，AUX 路径控制器必须主电源电压高于 AUX 电源电压时阻断反向电流。同样，当主电源电压低于 AUX 电源时，AUX 路径控制器必须阻断正向电流。这确保具有最高优先级的主电源为负载供电，而 AUX 电源与主电源和负载隔离。

LM74900-Q1 理想二极管控制器驱动和控制外部背对背 N 沟道 MOSFET，从而模拟具有电源路径开关控制及过流和过压保护功能的理想二极管整流器。**图 5** 是在共漏极拓扑中使用两个 **LM74900-Q1** 器件的优先级电源多路复用器原理图。 V_{AUX} 路径中 **LM74900-Q1** 的过压引脚配置为当 V_{PRIM} 因为任何原因断开时， V_{AUX} 电源立即连接到负载，并确保为负载持续供电。

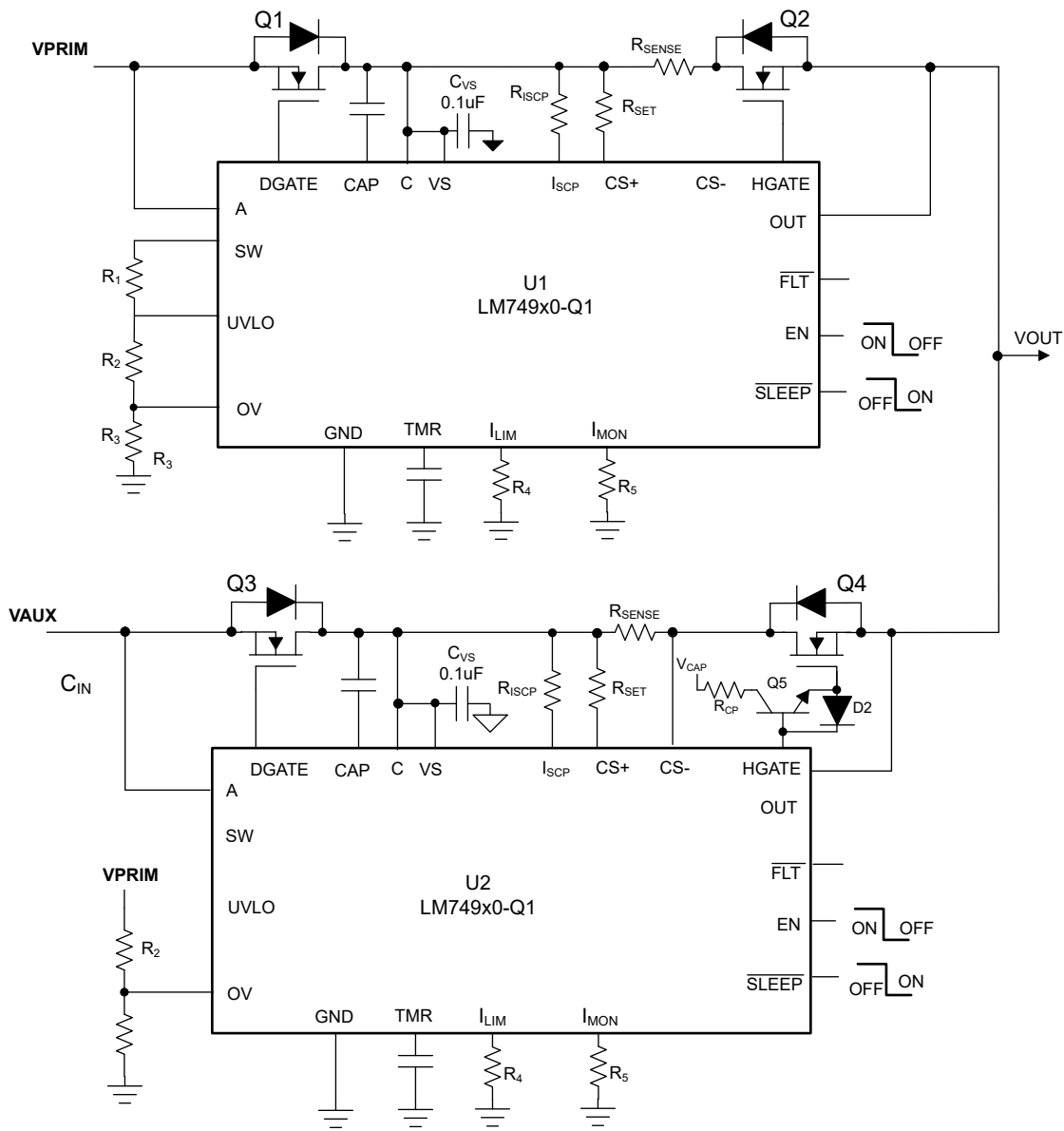


图 5. 使用 LM7490-Q1 的典型优先级电源多路复用器应用电路。

电源多路复用器电路的目的是在 V_{PRIM} 被切断或超出可接受的范围时，负载切换到由 V_{AUX} 供电，同时使输出电压保持在较低水平。为了在转换期间将输出电压保持较低水平，负载开关 FET (Q4) (由 V_{AUX} 路径中的 **LM7490-Q1** 驱动) 必须在 V_{PRIM} 的电源路径关闭 (通过关断 Q2) 期间非常快速地导通。但是，HGATE 引脚设计为仅提供 $55\mu A$ 栅极电流，以实现慢启动来提供浪涌电流限制，该电流太低而无法快速将 HGATE 变为高电平。由一各电阻器 (R_{CP})、一个晶体管 (Q5) 和一个二极管 (D2) 组成的小电路可以增加 HGATE 拉电流。另外还可以通过将 Q5 的发射

极连接到 Q4 的栅极来增加栅极拉电流，因为 Q5 允许电荷泵电容器将 HGATE 直接拉高。或者，您可以通过改变 R_{CP} 的电阻值来调节 Q4 栅极拉电流。D2 在 Q5 周围提供了一条路径来关断 Q4。

图 6 显示了在 V_{PRIM} 断开且负载快速转换至 V_{AUX} 电压轨的情况下捕获的波形。AUX 电压轨的 HGATE 在 $20\mu s$ 内导通以减少输出电压下降。

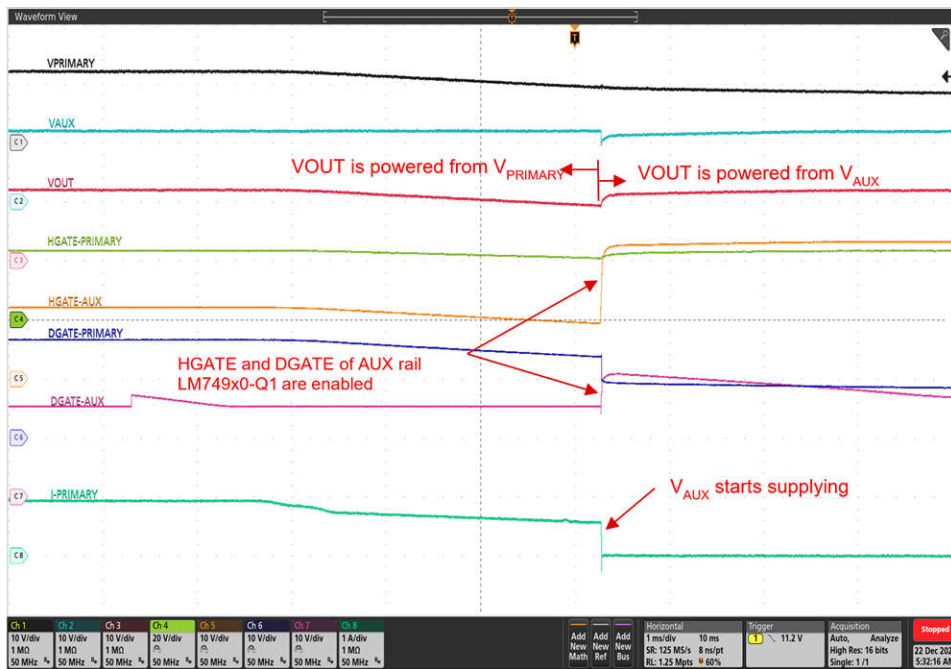


图 6. 电源多路复用器应用中的 V_{PRIM} 到 V_{AUX} 切换

图 7 显示了当 V_{PRIM} 恢复到可接受的水平时的瞬时波形，这时优先级电源多路复用器电路平稳地转换负载，最低电压降到 V_{PRIM} ，因为它的优先级高于 V_{AUX} 。

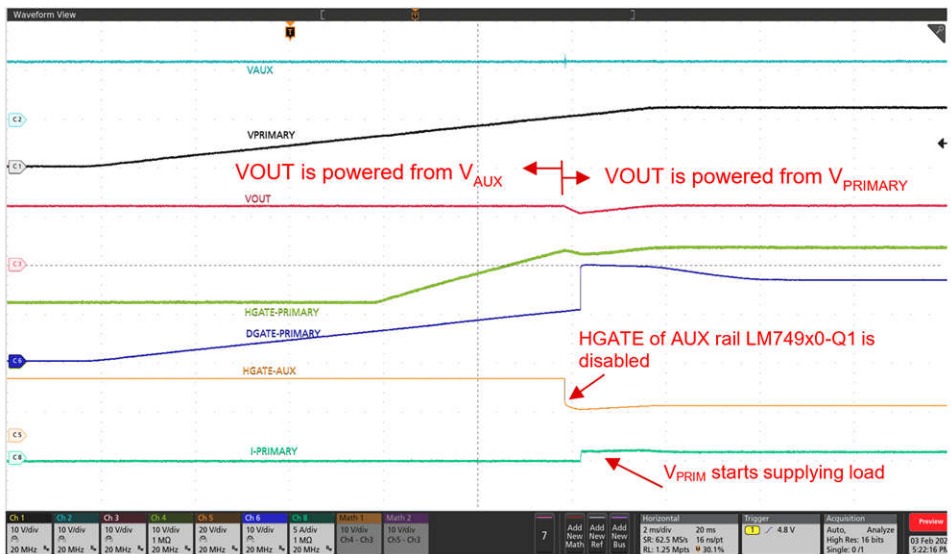


图 7. 电源多路复用器应用中的 V_{AUX} 至 V_{PRIM} 切换。

表 1 显示了各种理想二极管控制器以及它们基于各个功能集可支持的冗余电源拓扑。

理想二极管控制器	ORing 配置	电源多路复用配置 (背对背 FET 控制)	
		共漏极拓扑	共源极拓扑
LM5050-1-Q1	✓	✗	✗
LM70700-Q1	✓	✗	✗
LM7480-Q1	✓	✓	✓
LM74720-Q1	✓	✓	✗
LM74900-Q1	✓	✓	✗
LM74930-Q1	✓	✗	✓

表 1. 适用于冗余电源拓扑的理想二极管控制器列表。

结语

具有高级功能的理想二极管控制器支持 ORing 和电源多路复用电路的不同架构。理想二极管控制器具有反极性保护、反向电流阻断、负载突降保护、有源整流、过压保护和浪涌电流限制等特性和优势，从而可实现全面的输入电源路径保护并有助于确保系统的可靠性和安全性。

参考文献

- 德州仪器 (TI): [使用理想二极管控制器、具有稳健反向电池保护功能的六种系统架构。](#)
- 德州仪器 (TI): [使用 LM749x0-Q1 解决汽车电池反向保护拓扑问题。](#)
- 德州仪器 (TI): [在汽车区域模块中使用理想二极管的优先级电源多路复用器](#)

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司